"科技创新助力构建国家能源新体系"专刊序言

能源是国家经济社会可持续发展最重要的物质基础之一，能源安全与可持续发展是国家重大战略。党中央高度重视能源安全战略，习近平总书记在党的十九大报告中提出，"推进绿色发展""推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系""着力解决突出环境问题""打赢蓝天保卫战"。当前全球能源发展处于从化石能源向低碳的可再生能源及无碳的自然能源快速转变的过渡期，能源结构呈现出"传统能源清洁化，低碳能源规模化，能源供应多元化，终端用能高效化，能源系统智能化，技术变革全面化"的总体趋势。世界能源变革为我国实现绿色发展提供了重要历史机遇。

中国在气候变化巴黎大会上郑重承诺，"2030年左右单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%—65%，使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现；非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右"。《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》明确提出了"展望2050年，能源消费总量基本稳定，非化石能源占比超过一半，成为全球能源治理重要参与者"的宏伟目标。在当今国际形式下，必须坚持问题导向，强化顶层设计，构建更强健能力、更完整覆盖和更交叉协同的科技创新成果供给体系，才能够实现这一美好愿景。

中国科学院作为国家战略科技力量，深入学习和贯彻习近平总书记关于"构建清洁低碳、安全高效的能源体系"的系列指示精神，以构建与能源资源相适应的中国特色能源结构体系为牵引，以为我国2030年和2050年能源愿景探索技术途径和奠定创新基础为目标，在前期部署实施的"低阶煤清洁高效梯级利用关键技术与示范"战略性先导科技专项成果的基础上，系统论证并启动了"变革性洁净能源关键技术与示范"战略性先导科技专项，预期将形成30多项变革性技术突破和20多项应用示范，实现百万吨煤炭高值转化、百万吨煤炭清洁燃烧、百兆瓦规模储能示范、百分之百可再生能源集成示范和低碳化多能融合战略研究等五大引领性成果。为进一步发挥



国家战略科技力量的作用，中国科学院深入实施“率先行动”计划，推进研究所分类改革，整合全院能源领域近20个研究所的优势力量，筹建了“中国科学院洁净能源创新研究院”，围绕产业链部署创新链，探索协同创新的体制机制。加强与企业和地方政府的合作，充分释放国家政策红利，激励技术成果转移转化，助推经济发展和产业结构升级。

《中国科学院院刊》作为中国科学院科技智库的重要载体之一，始终坚持“战略高度、国家层面、国际视野”的办刊思路，以科学家深厚的科学积累及高度社会责任感，为国家宏观战略决策提供科学支持。本期专刊以“科技创新助力构建国家能源新体系”为主题，组织院内能源领域相关专家从化石能源清洁高效转化利用、可再生能源及低碳多能互补等多个方面深入探讨，为构建我国清洁低碳、安全高效的能源体系出谋献策。希望以此为契机，广开言路、凝聚共识，为加快完善我国能源科技创新体系，作出重要贡献。

白春礼

中国科学院院长、党组书记

《中国科学院院刊》主编

2019年4月11日

编者按 能源是人类社会生存和发展的三大支柱之一。我国已成为世界上最大的能源生产国和消费国。富煤、贫油、少气的资源禀赋特点使得我国能源生产和消费长期以煤为主，由此给生态环境造成巨大压力。在我国经济由粗放转向高质量发展的阶段，亟待依靠能源科技创新，驱动我国能源供给和消费体系的系统性变革。基于此，依托中国科学院“变革性洁净能源关键技术与示范”战略性先导科技专项（A 类），《院刊》邀请能源科技领域的相关专家围绕该主题组织了本期专题，该专题由中国科学院大连化学物理研究所刘中民院士指导推进。

科技创新助力构建国家能源新体系

肖 宇[1] 彭子龙[2] 何京东[2] 刘中民[1*]
1 中国科学院大连化学物理研究所 大连 116023
2 中国科学院 重大科技任务局 北京 100864

摘要 能源是国家赖以生存和发展的物质基础。以能源绿色转型发展支撑经济社会的高质量发展，是一项长期而艰巨的任务。构建清洁低碳、安全高效的能源体系是我国未来能源发展的重大战略目标，而科技创新是实现这一目标的关键。文章在分析我国能源发展现状的基础上，指出了我国能源发展存在的主要问题及面临的重大挑战，提出了以化石能源清洁高效利用与耦合替代、清洁能源多能优势互补与规模应用、低碳化多能战略融合为主线的能源科技发展新思路和战略建议。

关键词 能源，可持续发展，科技创新，规划建议

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.04.002

1 我国能源的总体情况

目前，我国已成为世界上最大的能源生产国和消费国。根据国家统计局数据，2018 年，全年能源消费总量 46.4 亿吨标准煤，比上年增长 3.3%[1]。煤炭消费量占能源消费总量的 59.0%；天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占能源消费总量的 22.1%，可再生能源发电装机量达到 7.28 亿千瓦，同比增长 12%[2]；原油对外依存度 71.0%，天然气对外依存度 43.9%[1]。总体来讲，一方面化石能源仍是我国能源消费的主体，原油及天然气对外依存度不断加大，给我国的能源安全带来隐患；另一方面可再生能源的清洁能源替代作用日益凸显。

近年来，我国能源产业快速发展，但“富煤、贫油、少气”的资源禀赋特点使我国长期以来形成了以化石能源为主的能源消费结构，由此带来了生态环境破坏和能源资源瓶颈等问题。同时，我国政府向世界

*通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（XDA21000000）
修改稿收到日期：2019年4月8日

承诺到2030年碳排放达到峰值。如何在国际气候协议制约及国内环保压力下，既保障能源供给安全，又满足能源结构变革与产业结构转型的要求，促进能源、经济、社会、环境协调发展，推动我国经济高质量发展，是我国能源领域面临的重大挑战。解决好能源问题是支撑我国2035年基本实现社会主义现代化、2050年实现社会主义现代化强国目标的重要基础保障。

习近平总书记高度重视我国能源发展与改革工作，作出一系列重要论述和指示。特别是2014年6月在中央财经领导小组第六次会议上发表重要讲话，明确提出推动能源消费革命、能源供给革命、能源技术革命、能源体制革命和全方位加强国际合作等重大发展战略，为我国能源改革发展进一步指明了方向。十九大报告明确提出构建市场导向的绿色技术创新体系，推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系。国家发改委和国家能源局也发布了《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》[3]，其中提出“到2050年非化石能源消费占比超过一半，建成现代能源体系，保障实现现代化”。这是一幅宏伟的蓝图，我国目前能源结构中，非化石能源占比仍只有14%左右，实现这一目标任重而道远。

2 我国能源发展面临的问题及挑战

近年来，我国能源发展取得了巨大进展，如能源技术自主创新能力和装备国产化水平显著提升、部分领域达到国际领先水平，为打造新型能源产业奠定了坚实基础，但与新时期能源革命的战略目标相比还有较大差距。此外，由于我国能源资源约束日益加剧、生态环境问题突出，调整结构、提高能效和保障能源安全的压力进一步加大，能源发展面临着一系列问题及挑战。

2.1 我国能源供给安全面临重大挑战

随着国民经济的快速发展，我国面临的能源安全形势日益严峻，尤其是石油和天然气供给安全以及进口通道安全。*在石油供给安全方面，*由于我国石油资源地质储量少，石油生产总量远低于石油需求总量，导致我国石油供需矛盾日益突出，原油对外依存度长期处于高位且有进一步快速增加的趋势，从2010年的53.8%迅速飙升到2018年的71.0%。*在天然气供给安全方面，*我国的天然气生产和消费持续增长，自2007年开始，我国天然气消费量大于生产量，对外依存度不断攀升，2018年达到43.9%。*在进口通道安全方面，*我国能源进口通道安全强烈依赖地缘政治，能源的地缘竞争逐渐表现为油气资源陆上获取权和海上运输控制权相结合趋势，而受到地区政治不稳定因素的影响，我国的油气资源进口面临着严重的威胁。

2.2 生态环境压力加大，污染排放问题突出

大规模化石能源开发利用带来的生态环境恶化，以及能源消费所导致的污染排放，正日益超出环境的承受能力，主要体现在对大气环境、水资源及生态系统的影响等方面，化石能源利用排放了大量的二氧化硫（SO_2）、氮氧化物（NO_x）、烟尘等污染物。目前城市交通、火电已成为细颗粒物（$PM_{2.5}$）的主要来源，并且火电、交通及其他工业排放的颗粒物仍将持续增加。大范围、高强度的雾霾天气倒逼能源转型。

全球对温室气体引起的气候变化问题已经形成共识，并达成了二氧化碳（CO_2）减排的约束性政府间协议。中国政府承诺到2030年碳排放达到峰值，单位国内生产总值CO_2排放较2005年下降60%—65%。我国能源消费量大，且以高碳化石能源为主，未来在应对气候变化问题上将受到越来越大的国际压力。这不仅严重制约我国化石能源的使用总量，同时也对现有化石能源的使用方式提出了挑战。

2.3 能源科技水平总体不高，国际竞争激烈

我国能源科技水平在全球局部领先、部分先进、总体落后。创新模式有待升级，引进消化吸收的技术成果较多，与国情相适应的原创成果不足。创新体系

有待完善，创新活动与产业需求脱节的现象普遍存在，各创新单元同质化发展、无序竞争、低效率及低收益问题较为突出。能源产业缺乏关键核心技术，部分核心装备、工艺、材料仍受制于人，重大能源工程依赖进口设备的现象仍较为普遍，技术空心化和对外依存度偏高的现象尚未得到有效解决。

2.4 我国现有能源体系存在结构性缺陷

能源体系构成复杂，加之我国人口和发展基数大，长期以来，我国能源体系中逐渐形成了相对独立的各分系统，一定程度上合力促进了国家发展。但是随着国家进一步发展和形势变化，特别是内外环境约束的增加及生态文明的进步，虽然各分系统面向社会提供能源产品的大目标一致，但系统间的发展不协调性日益凸显。受限于我国的能源资源特点，石油化工难以提供化工基本原料，严重制约下游精细化工行业发展；而煤化工适于制取大宗化学品和油品，可以弥补石油资源不足，亟待将现代煤化工与石油化工协调发展，优化合理的产业结构。类似问题还体现在：太阳能、风能发电并网率低，水能、核能相对过剩，以及燃料乙醇存在与人争粮风险等。孤立的能源分系统难以协调发展，整体效率不高，“九龙治水”已经不能适应发展的需求，亟待破除供给侧各能源种类之间版块分割、互相独立的体制壁垒，亟待突破能源种类之间互补及耦合利用的核心技术。

3 科技创新助力构建国家能源新体系的构想

2050 年“非化石能源占比超过一半”和“构建清洁低碳、安全高效的能源体系”的能源愿景，难以依靠现有能源技术的累积性进步而实现。我国现有能源体系中各分系统相对独立，且存在结构性矛盾，各分系统之间难以“合并同类项”。必须从能源革命和构建能源新体系的国家目标出发，加强全局性顶层设计，从现在开始探索和奠定能源供给侧和消费侧的创新技术，研究形成经济上可行的技术途径，并以此为基础，形成总体发展策略和系统解决方案。以科技创新为引领，才能保障国家目标的顺利实现。

我国现有的煤炭、石油、天然气、可再生能源与核能五大能源类型之间，存在通过相对优势的互补融合对冲消除各种能源种类劣势、形成整体优势的发展需求和巨大技术创新空间。例如：煤化工大多属于低碳分子重构的放热过程，石油加工属于大分子裂解的吸热过程，两者的耦合不仅可以大幅提高能效，也可以弥补各自的不足；利用可再生能源、高温核能等制取的氢，可以补充煤化工之所缺，也可以与 CO_2 通过催化耦合而制取油品和大宗化学品，总体上实现 CO_2 减排；可再生能源可通过规模储电而提高并网利用效率；多种技术的结合可以因地制宜地形成低碳化清洁能源供应系统，促进能源消费革命等。技术路线不仅要注重现阶段多种能源的互补融合，也要兼顾我国能源发展从高碳向低碳直至无碳的过渡中的技术需求；不仅注重技术的变革性，积极抢占国际技术制高点，也应兼顾为我国相关产业结构升级提供技术支撑。

据此，我们建议从能源系统顶层设计角度出发，以能源技术创新为引领，以化石能源清洁高效利用与耦合替代、清洁能源多能互补与规模应用、低碳化多能战略融合为 3 条主线，逐步构建清洁低碳、安全高效的国家能源新体系（图 1）。发挥举国体制优势，打破能源领域版块壁垒，突破高效催化、低碳制氢、规模储能等一批战略核心技术，抢占能源技术战略制高点；通过逐步降低煤炭在能源消费中的比例，促进整个能源系统全生命周期的高效运转和生态循环，实现化石能源与可再生能源及核能的低碳化战略融合与发展。

3.1 鼓励发展以煤炭为代表的化石能源清洁高效利用与耦合替代技术，保障能源安全

能源供应与安全是我国经济社会健康稳定发展的基本保障。我国煤炭资源量占化石资源总量的 95% 左右，能源资源禀赋与能源消费结构严重不匹配，石油

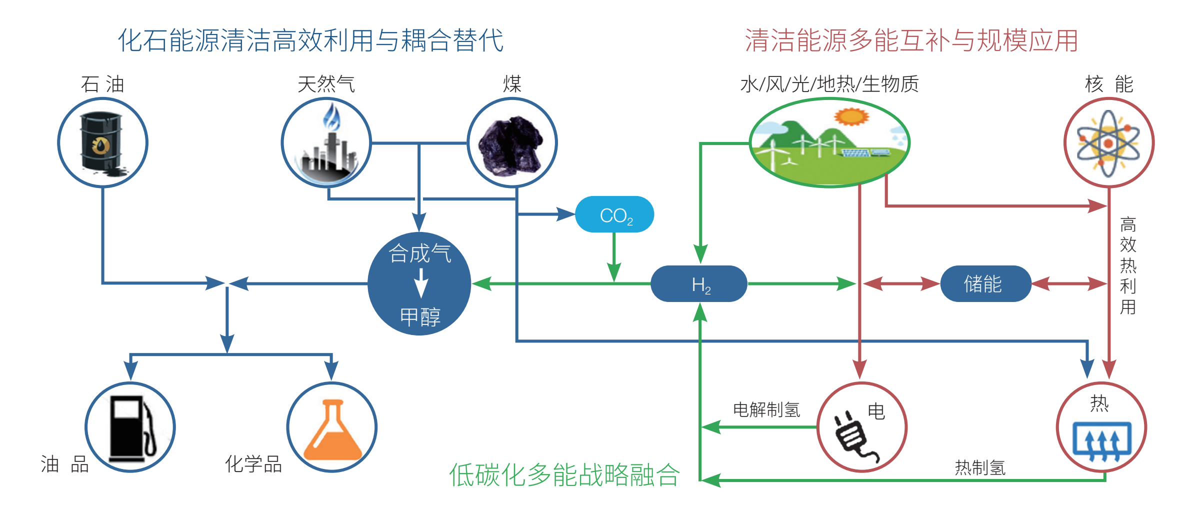


图 1　构建化石能源、可再生能源、核能低碳化多能融合的新型能源体系

对外依存度逐年增加（2018 年为 71.0%）。在当前国际形势下，油气资源不足及长期依赖进口的状况更加凸显了保障我国能源安全的紧迫性。

相比其他能源种类，煤炭在我国能源结构中的比重虽然会有所下降，但其作为我国能源结构主体的基本国情在未来很长一段时间内难以改变。2018 年，我国能源消费总量 46.4 亿吨标准煤，煤炭消费量占能源消费总量的 59.0%。煤炭燃烧过程会产生大量的 SO_2、NO_x 和烟尘等污染物，其产生的碳排放占我国能源消费碳排放的 75% 以上，这使我国面临巨大的环境压力和碳排放压力。

经过长期发展和国家支持，我国在煤化工领域已经形成了一批核心技术，正处于完成工业示范并大规模推广应用的有利时期。发展以煤为原料的现代煤化工，通过气化、液化、新型焦化等途径制取油品和替代石油制取大宗化学品，不仅可缓解石油供应紧张局面，也可弥补现有石油加工与石油化工行业的结构性缺陷，促进工业结构转型升级；紧急情况下还可以成为保障油气供应的重要支柱。同时，需要通过技术创新，加强新产品开发，通过延伸产业链，发展高附加值、精细化、差异化的产品。重点以甲醇转化为平台，耦合石油基原料（苯、甲苯、石脑油等），实现烯烃、芳烃和含氧化合物大宗化学品/燃料的合成技术变革，形成煤化工与石油化工协调发展、构建合理产业结构的整体理念。

围绕现代煤化工过程中环境优先、清洁转化、高效利用、可持续发展的目标，着力解决清洁燃烧和催化转化过程中的重大科学问题，突破高能耗、高水耗、高排放等关键技术瓶颈，实现高碳能源绿色低碳转型发展。重点研究煤转化以及油煤气耦合制燃料和大宗化学品的新路线和新方法，突破以煤经甲醇、合成气为平台化合物的能源化学品合成新技术，推动煤化工与石油化工融合发展和相关工业转型升级，突破民用散烧、工业燃煤高效超低排放燃烧关键技术瓶颈等。

3.2 发展清洁能源多能互补与规模应用技术

原则上，可再生能源与核能等清洁能源的量越多，总的碳排放量就会越少，化石能源就可以少用，表面上看似乎单纯发展清洁能源就可以解决问题。但是，这些清洁能源的产生及利用方式强烈地依赖地域与自然环境，在部分自然资源丰富的小国可行，然而与我国现有集约化国家能源供应体系的联系是困难的，需要结合区域智能能源网络的构建及新兴产业的发展统筹考虑。在未来的新型能源体系中，可再生能

源与新能源将替代化石能源供电、供热，并通过富余电力生产氢能，为交通燃料生产、化工品合成提供氢源；高碳化石能源、低碳生物质能将通过物质转化，满足交通燃料、化工品、焦炭、电石、新型炭材料等产品生产需求。而随着电动车的推广和普及，化石能源原料消费将更集中于化工品、新型炭材料等产品生产。例如，以电动车作为分布式储能的终端，根据车辆使用情况进行电能反馈，提高电网的稳定性，推动风电、太阳能发电大规模接入电网，有利于实现电动汽车、智能电网与可再生能源的融合发展。

截至 2018 年底，我国可再生能源发电装机达到 7.28 亿千瓦，同比增长 12%；其中，水电装机 3.52 亿千瓦、风电装机 1.84 亿千瓦、光伏发电装机 1.74 亿千瓦、生物质发电装机 1 781 万千瓦，分别同比增长 2.5%、12.4%、34% 和 20.7%。可再生能源发电装机约占全部电力装机的 38.3%，同比上升 1.7 个百分点，可再生能源的清洁能源替代作用日益凸显[2]。《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》中指出，到 2030 年和 2050 年，非化石能源占比达到 20% 和 50%。要实现这些目标，需突破清洁能源多能互补与规模应用的关键技术，形成以储能为枢纽的多能互补体系，提升清洁能源比例。重点发展可规模化、链条完整的可再生能源生产、储运、转化、并网、利用的系统解决方案；发展以大规模储能技术为基础的分布式能源系统，研究现代电网智能调控技术，解决大规模可再生能源和分布式发电并网消纳问题。储能和氢的产生及利用是重要的能源互联平台。

3.3 创新驱动低碳化多能战略融合

能源清洁化是国际大趋势，能源结构正处于从高碳到低碳、无碳的过渡期。我国碳排放总量高居世界第一，面临严峻的减排压力。我国能源消费以化石能源为主，利用化石能源必然排放 CO_2，而要减排 CO_2，只能从能源系统融合发展角度，发展新的能源体系。原理上，在保障满足能源总需求量的同时，多能互补融合可以比单纯增加可再生能源实现更大幅度的碳减排。利用可再生能源、高温核能等制取的低碳氢，可以补充煤化工之所缺，同时与 CO_2 通过催化耦合制取油品和大宗化学品，以产氢和用氢为纽带，实现能源总体上的低碳化和低碳排放。

针对重要能源载体甲醇和氢的可再生能源大规模制备及应用，创新发展各种能源的互补、耦合利用技术，围绕氢能经济，打造氢的生产、储运和消费的完整技术链，发展可再生能源制氢、核能制氢技术及应用体系；开发 CO_2 低能耗大规模捕集、资源化利用技术，将 CO_2 与低碳氢反应生成甲醇等化学品；开展先进燃料电池和燃料电池分布式发电技术，引领带动电动车等战略新兴产业变革和发展，实现低碳化多能融合发展，为由化石能源时代迈向阳光能源时代打通道路。

4 能源领域科技发展建议

4.1 加强顶层设计，布局实施能源领域重大科技任务

在化石能源清洁高效利用、可再生能源大规模开发利用、安全先进核能、多能互补融合关键技术等战略必争领域，与国家科技创新体系构建紧密结合，启动论证实施洁净能源相关重大项目，发挥各创新主体优势，研究提出梯次接续方案，从能源供给侧、消费侧技术革命的高度进行顶层设计和统筹部署洁净能源技术攻关任务。

4.2 加强能源战略研究，打造高端智库

为国家构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系提供智力支撑，组建具有全球影响力的能源战略研究专业团队，给予其必要的稳定资源配置，发展符合我国能源现状的能源发展战略创新研究方法，科学合理地提出支撑我国能源体系构建的关键技术和技术集成战略，从顶层进行全局性的能源发展战略研究，为国家政策制定提供科学依据。

4.3 加快完善国家能源创新体系

建立创新链、产业链、资金链、政策链相互交织、相互支撑的全链条创新体系。明确各类创新主体在国家创新体系中的使命定位。在重大创新领域组建一批国家实验室，是习近平总书记在党的十八届五中全会提出的重大战略举措。2018 年的政府工作报告中再次指出要“高标准建设国家实验室”。能源领域是多学科交叉、技术集成度高、系统性较强的学科领域，能源领域科技创新具有前瞻性、颠覆性、风险大、长期性等特点。建议从国家层面加速推进洁净能源领域国家实验室的建设，这对推动我国能源科技进步，提升能源领域国际影响力，以及构建“清洁低碳、安全高效”的能源体系具有重要的意义。

参考文献

1 国家统计局. 2018年国民经济和社会发展统计公报. [2019-02-28]/[2019-03-06]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html.

2 国家能源局. 2018年可再生能源并网运行情况介绍. [2019-01-28]/[2019-03-06]. http://www.nea.gov.cn/2019-01/28/c_137780519.htm.

3 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》的通知. [2016-12-29]/[2019-03-06]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201704/t20170425_845284.html.

Science and Technology Innovation Promotes Construction of New National Energy System

XIAO Yu[1] PENG Zilong[2] HE Jingdong[2] LIU Zhongmin[1*]

（1 Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China;

2 Bureau of Major R & D Programs, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China）

Abstract Energy is the material basis for the survival and development of a country. Sustainable high-quality development of the economic society with the green transformation of energy resources is a long-term and tough task. The construction of clean, low-carbon, safe and highly efficient energy system is an important strategic goal putting forward by the government for the future energy development of China, while technological innovation is the key to such goal. Based on the analysis of Chinese energy development status, major problems and great challenges, combining with global energy development trends, this study proposed a new idea on the development strategy of energy technology of China, the main line of which is the clean and efficient use of fossil resources and coupling substitution, multi-energy complementarity and scale application of clean energy, and the low-carbon multi-energy strategic integration.

Keywords energy, sustainable development, scientific and technological innovation, strategic planning and suggestions

*Corresponding author



肖 宇 中国科学院大连化学物理研究所科技处处长，主要负责组织制定科技发展规划、组织协调洁净能源国家实验室申请，洁净能源创新研究院筹建等。全国燃料电池标准化技术委员会委员，国际电工协会燃料电池标委会（IEC/TC105/WG13）工作组成员。E-mail: xiaoyu04@dicp.ac.cn

XIAO Yu Ph.D., Director of the Science and Technology Department of Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is mainly responsible to put forward the science and technology development plan, organizing and preparing for the clean energy innovative research institutes. He is member of the National Fuel Cell Standardization Technical Committee, and member of the working group of the International Electrotechnical Association Fuel Cell Standards Committee (IEC/TC105/WG13). E-mail: xiaoyu04@dicp.ac.cn



刘中民 中国工程院院士，研究员，博士生导师。第十三届全国政协委员，大连市政协第十三届委员会副主席，民盟大连市第十四届委员会主任委员。中国科学院大连化学物理研究所及青岛生物能源与过程研究所所长、甲醇制烯烃国家工程实验室主任、国家能源低碳催化与工程研发中心主任。中国科学院战略性先导科技专项（A 类）“变革性洁净能源关键技术与示范”负责人。长期从事应用催化研究，完成了世界首次甲醇制烯烃（DMTO）技术工业性试验及首次工业化，DMTO 技术已实现技术实施许可 1 313 万吨烯烃/年，已投产 646 万吨烯烃/年；完成了世界首套 10 万吨/年煤基乙醇工业示范项目，引领了我国新兴煤制大宗化学品和清洁燃料产业的发展。E-mail: zml@dicp.ac.cn

LIU Zhongmin Professor, Academician of Chinese Academy of Engineering, Director of Dalian Institute of Chemical Physics and Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences (CAS). In 2006, as a leading scientist, Prof. Liu, together with partners and his colleagues, has successfully accomplished the industrial demonstration test of double methanol to olefin (DMTO) technology. Based on DMTO technology, the world's first commercial MTO unit has been built by Shenhua group, which was a milestone in the fields of coal to chemicals. Besides DMTO, Prof. Liu has also developed many other new catalysts and catalytic processes, such as methanol to ethanol, propylene to isopropanol, and methanol to dimethyl ether. Recently, the world's first coal-to-ethanol (methanol to ethanol) demonstration plant (100 KTA ethanol) has been commissioned. E-mail: zml@dicp.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

参考文献（双语版）

1 国家统计局. 2018年国民经济和社会发展统计公报. (2019-02-28)[2019-03-06]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html.

National Bureau of Statistics. Statistical bulletin of national economic and social development in 2018. (2019-02-28)[2019-03-06]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html. (in Chinese)

2 国家能源局. 2018年可再生能源并网运行情况介绍. (2019-01-28)[2019-03-06]. http://www.nea.gov.cn/2019-01/28/c_137780519.htm.

National Energy Administration. Introduction of grid-connected operation of renewable energy in 2018. (2019-01-28)[2019-03-06]. http://www.nea.gov.cn/2019-01/28/c_137780519.htm. (in Chinese)

3 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》的通知. (2016-12-29)[2019-03-06]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425_962953.html?code=&state=123.

National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Notice on printing and distributing *China's Energy Production and Consumption Transition Strategy (2016—2030)*. (2016-12-29)[2019-03-06]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425_962953.html?code=&state=123. (in Chinese)